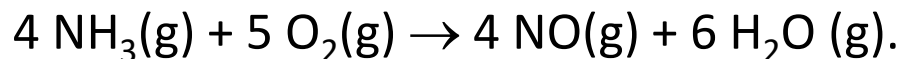


Radioaktivita

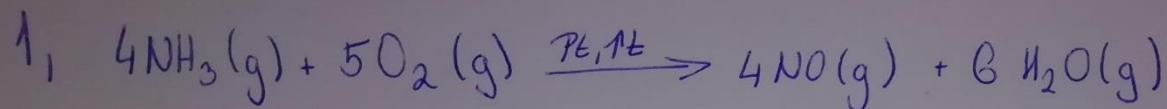
FC 3806

Jaro 2021

1) Při vysoké teplotě a za přítomnosti platinového katalyzátoru reaguje amoniak s kyslíkem za vzniku oxidu dusnatého a vodní páry:



Kolik dm^3 kyslíku zreaguje za uvedených podmínek s 3 dm^3 amoniaku a kolik dm^3 oxidu dusnatého a vodní páry vznikne? Objemy všech látek byly měřeny za stejné teploty a tlaku.



$$V(\text{NH}_3) = 3 \text{ dm}^3$$

$$n(\text{NH}_3) = \frac{3}{22,4} = 0,1339 \text{ mol}$$

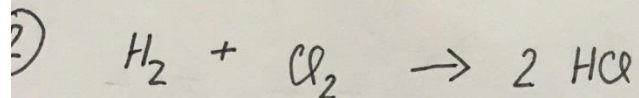
$$n(\text{O}_2) = \frac{5}{4} \cdot n(\text{NH}_3) = 0,1674 \text{ mol} \Rightarrow V(\text{O}_2) = n \cdot V_m = \underline{\underline{3,75 \text{ dm}^3}}$$

$$n(\text{NO}) = n(\text{NH}_3) = 0,1339 \text{ mol} \Rightarrow V(\text{NO}) = \underline{\underline{3 \text{ dm}^3}}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{6}{4} n(\text{NH}_3) = 0,2009 \text{ mol} \Rightarrow V(\text{H}_2\text{O}) = \underline{\underline{4,5 \text{ dm}^3}}$$

Reaguje $3,75 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$ a vznikne $3 \text{ dm}^3 \text{ NO}$ a $4,5 \text{ dm}^3 \text{ H}_2\text{O}$.

2) Jeden dm^3 chloru zreaguje beze zbytku s 1 dm^3 vodíku. Zreaguje beze zbytku 1 kg chloru s 1 kg vodíku? Pokud ne, který plyn po reakci přebude? Kolik ho přebude?



$$M_r(\text{H}_2) = 2 \cdot 1 = 2$$

$$M_r(\text{Cl}_2) = 2 \cdot 35 = 70$$

$$\Rightarrow 1 : 35 \Rightarrow 1 \text{ kg H}_2 \text{ by zreagovalo s } 35 \text{ kg Cl}_2$$

$$1 \text{ H}_2 \dots \dots 35 \text{ Cl}_2$$

$$x \text{ kg H}_2 \dots \dots 1 \text{ kg Cl}_2$$

$$x = \frac{1 \cdot 1}{35} = 0,0286 \text{ kg H}_2$$

$$1 - 0,0286 = 0,9714 \text{ kg H}_2 = 971,4 \text{ g H}_2$$

Po reakci zůstane $971,4 \text{ g H}_2$ jako přebytek.

3) Vypočítejte střední relativní molekulovou hmotnost chloroformu, jestliže střední relativní atomové hmotnosti jsou $A_r^{\text{str}}(\text{C}) = 12,011$, $A_r^{\text{str}}(\text{H}) = 1,0077$ a $A_r^{\text{str}}(\text{Cl}) = 35,453$.

chloroform CHCl_3

$$A_r^{\text{str}}(\text{C}) = 12,011$$

$$A_r^{\text{str}}(\text{H}) = 1,0077$$

$$A_r^{\text{str}}(\text{Cl}) = 35,453$$

$$M_r^{\text{str}}(\text{CHCl}_3) = A_r^{\text{str}}(\text{C}) + A_r^{\text{str}}(\text{H}) + 3 \cdot A_r^{\text{str}}(\text{Cl})$$

$$= 12,011 + 1,0077 + 3 \cdot 35,453 = \underline{\underline{119,38}}$$

4) Vypočítejte, kolik atomů uhlíku je obsaženo ve 32 gramech acetylidu vápenatého.

5/
CaC₂
M = 64,1 g/mol

$$\begin{array}{r} \text{CaC}_2 \dots \text{C} \\ \times 64,1 \dots 2 \cdot 12,01 \times \\ \hline 32 \dots x \end{array}$$

$$\frac{x}{24,02} = \frac{32}{64,1}$$

$$x = 11,9912 \text{ g}$$

$$n_{\text{C}} = \frac{11,9912}{12,01} = 0,998 \text{ mol}$$

$$n = \frac{N}{N_A} \Rightarrow N = n \cdot N_A = 0,998 \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \doteq 6,013 \cdot 10^{23} \text{ atomů}$$

5) Jaký objem roztoku lze připravit z 0,5 mol KOH, má-li mít tento roztok koncentraci 0,5 mol dm^{-3} ?

⑤

$$\begin{aligned} n &= 0,5 \text{ mol} \\ c &= 0,5 \text{ mol} / \text{dm}^3 \\ V &= ? \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

$$c = \frac{n}{V} \Rightarrow V = \frac{n}{c}$$
$$V = \frac{0,5}{0,5} = \underline{\underline{1 \text{ dm}^3}}$$

Lze připravit 1 dm^3 roztoku

6) Kolik cm^3 vody musíme přidat k 180 cm^3 35% roztoku HCOOH o hustotě $\rho = 1,0847 \text{ g cm}^{-3}$, aby vznikl 20% roztok ($\rho = 1,0488 \text{ g cm}^{-3}$)? Jaký bude objem vzniklého roztoku?

$$w_1 = 0,35$$

$$m_1 = 195,246 \text{ g}$$

$$w_2 = 0$$

$$m_2 = ? \text{ (g)}$$

$$w_3 = 0,2$$

$$m_3 = 195,246 + m_2 \text{ (g)}$$

$$m_1 = \rho \cdot V$$

$$m_1 = 1,0847 \cdot 180$$

$$m_1 = 195,246 \text{ g}$$

$$m_1 w_1 + m_2 w_2 = m_3 w_3$$

$$195,246 \cdot 0,35 + 0 = (195,246 + m_2) \cdot 0,2$$

$$68,3361 = 39,0492 + 0,2 m_2$$

$$29,2869 = 0,2 m_2$$

$$m_2 = 146,4345 \text{ g}$$

$$m_3 = m_1 + m_2$$

$$m_3 = 195,246 + 146,4345$$

$$m_3 = 341,6805 \text{ g}$$

$$V_3 = \frac{m_3}{\rho} = \frac{341,6805}{1,0488} = 325,782 \text{ ml}$$

Musíme přidat 146,43 ml vody,
objem vzniklého roztoku bude 325,78 ml.

7) Kolik cm^3 96% roztoku H_2SO_4 o $\rho = 1,8355 \text{ g cm}^{-3}$ a kolik cm^3 vody potřebujeme na přípravu 1 litru 20% roztoku H_2SO_4 o $\rho = 1,1394 \text{ g cm}^{-3}$?

H_2SO_4
 ⑦ $V = ? \text{ cm}^3$
 $w = 96\%$
 $\rho = 1,8355 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

H_2O
 $V = ? \text{ cm}^3$

$V = 1 \text{ l} = 1000 \text{ cm}^3$
 $w = 20\%$
 $\rho = 1,1394 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

1. $m = \rho \cdot V = 1,1394 \cdot 1000 = 1139,4 \text{ g}$

2. $w = \frac{m_A}{m_0} \rightarrow m_A = w \cdot m_0 = 0,20 \cdot 1139,4 = 227,88 \text{ g}$

3. $w = \frac{m_A}{m_0} \rightarrow m_0 = \frac{m_A}{w} = \frac{227,88}{0,96} = 237,375 \text{ g}$

4. $V = \frac{m}{\rho} = \frac{237,375}{1,8355} = 129,32 \text{ cm}^3$

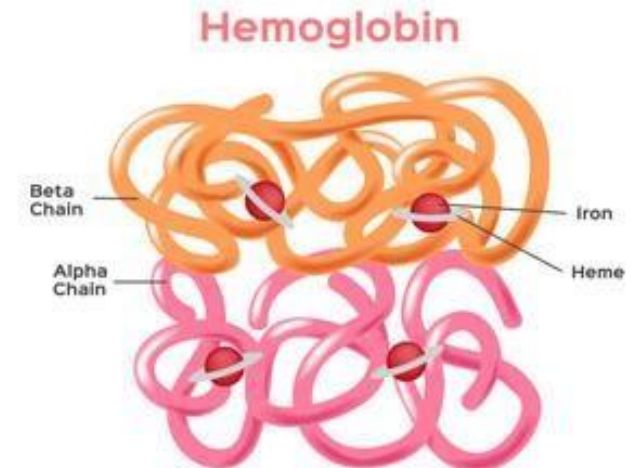
5. $m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{20\%(\text{H}_2\text{SO}_4)} - m_{96\%(\text{H}_2\text{SO}_4)}$
 $m_{\text{H}_2\text{O}} = 1139,4 - 237,375$
 $m_{\text{H}_2\text{O}} = 902,0 \text{ g}$

6. $V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho} = \frac{902,0}{1} = 902,0 \text{ cm}^3$

Na přípravu 20% roztoku H_2SO_4 budeme potřebovat $129,32 \text{ cm}^3$ 96% roztoku H_2SO_4 a $902,0 \text{ cm}^3$ vody.

8) Hemoglobin má relativní molekulovou hmotnost $6,8 \cdot 10^4$ a obsahuje asi 0,33 % Fe. Kolik atomů Fe obsahuje jedna molekula hemoglobinu?

- $M_{\text{hemoglobinu}} = 68000 \text{ g/mol}$
- $\omega_{\text{Fe}} = 0,0033$
- $M_{\text{Fe}} = 55,85 \text{ g/mol}$
-
- $\omega_{\text{Fe}} = \frac{m(\text{Fe})}{m(\text{hemogl})} \Rightarrow m_{\text{Fe}} = 68000 \cdot 0,0033 = 224,4 \text{ g Fe}$
v molu Hemoglobinu
- $\frac{224,4}{55,85} = 4,018 \approx 4$
- Jedna molekula hemoglobinu obsahuje 4 atomy železa.



9) Kolik kilogramů železa je obsaženo v 1000 kg Fe_3O_4 ?

a/

Fe_3O_4	Fe
231,55 g	3.55,85 g
1000 kg	x kg

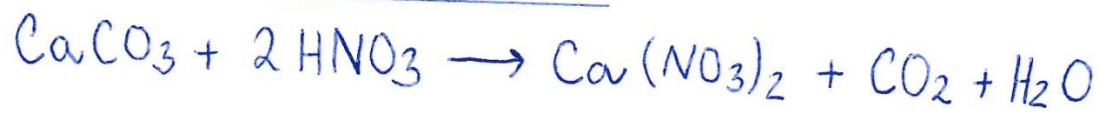
$$\frac{x}{3.55,85} = \frac{1000}{231}$$
$$x = \underline{\underline{725,32 \text{ kg}}}$$

10) Reakcí uhličitanu vápenatého s kyselinou dusičnou vzniká dusičnan vápenatý. Kolik gramů dusičnanu vápenatého připravíte, když použijete 200 g uhličitanu vápenatého a nadbytek HNO_3 ?

10. 200 g CaCO_3 $m_{\text{Ca(NO}_3)_2} = ? \text{ g}$

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,09 \text{ g/mol}$$

$$M[\text{Ca(NO}_3)_2] = 164,1 \text{ g/mol}$$

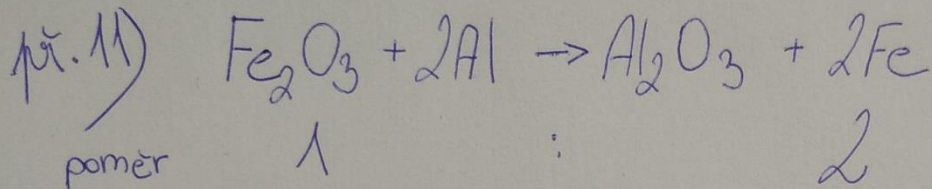


$$\begin{array}{r} \uparrow 100,09 \text{ g CaCO}_3 \dots\dots\dots 164,1 \text{ g Ca(NO}_3)_2 \uparrow \\ \underline{200 \text{ g CaCO}_3 \dots\dots\dots x} \end{array}$$

$$x = \frac{164,1 \cdot 200}{100,09} = \underline{\underline{327,9 \text{ g}}}$$

Touto reakcí připravíme 327,9 g dusičnanu vápenatého.

11) Železo se připravuje aluminotermicky reakcí oxidu železitého Fe_2O_3 s hliníkem. Kolik g oxidu železitého potřebujete na přípravu 200 g železa?



$$M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 159,69 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{m_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = 1,7907 \text{ mol}$$

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = ?$$

$$m = n \cdot M$$

$$m_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,7907 \cdot 159,69 =$$

$$= \underline{\underline{285,95 \text{ g}}}$$

$$m_{\text{Fe}} = 200 \text{ g}$$

$$M_{\text{Fe}} = 55,845 \text{ g/mol}$$

$$n_{\text{Fe}} = ?$$

$$n_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{200}{55,845} = \underline{\underline{3,5813 \text{ mol}}}$$

Bude potřeba 285,95 g oxidu železitého.

1. Vypočítejte relativní atomovou hmotnost nuklidu ^{40}Ca , víte-li, že hmotnost jednoho atomu tohoto nuklidu je $6,635 \cdot 10^{-26}$ kg.

Řešení:

Relativní atomová hmotnost nuklidu udává, kolikrát je atom daného nuklidu těžší než atomová hmotnostní jednotka m_u .

$$A_r(\text{X}) = \frac{m(\text{X})}{m_u}, \text{ kde } m_u = 1,660\,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

V tomto případě:

$$A_r(^{40}\text{Ca}) = \frac{m(^{40}\text{Ca})}{m_u} = \frac{6,635 \cdot 10^{-26} \text{ kg}}{1,660\,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 39,96$$

Relativní atomová hmotnost nuklidu ^{40}Ca je 39,96.

Částice	symbol		Klidová hmotnost (kg)	Klidová hmotnost (u)	Hmotnostní číslo	Náboj*	Spin
proton	p	${}^1_1\text{p}$	$1,6725 \cdot 10^{-27}$	1,0073	1	+1	1/2
neutron	n	${}^1_0\text{n}$	$1,6748 \cdot 10^{-27}$	1,0087	1	0	1/2
elektron	e-	${}^0_{-1}\text{e}$	$9,11 \cdot 10^{-31}$	$5,486 \cdot 10^{-4}$	0	-1	1/2
pozitron	e	${}^0_{+1}\text{e}$	$9,11 \cdot 10^{-31}$	$5,486 \cdot 10^{-4}$	0	+1	1/2
foton	γ		0		0	0	1
neutrino	ν		≈ 0		0	0	1/2

u - atomová hmotnostní jednotka $u = 1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg

** - elementární náboj $1,602 \cdot 10^{-19}$ C*

1. Experimentálně zjištěná hmotnost atomu ${}^4_2\text{He}$ je $6,646\,44 \cdot 10^{-27}$ kg. Vypočítejte
- hmotnostní úbytek při vzniku atomu helia ${}^4_2\text{He}$ z nukleonů a elektronů. Klidové hmotnosti protonu, neutronu a elektronu jsou:
 $m_p = 1,672\,648\,5 \cdot 10^{-27}$ kg, $m_n = 1,674\,954\,3 \cdot 10^{-27}$ kg,
 $m_e = 9,109\,534 \cdot 10^{-31}$ kg,
 - vazebnou energii nukleonů v jádře atomu ${}^4_2\text{He}$. Výsledek převed'te na jednotky MeV,
 - vazebnou energii připadající na 1 nukleon v jádře atomu ${}^4_2\text{He}$, v jednotkách MeV.

Řešení:

- Jeden atom ${}^4_2\text{He}$ obsahuje 2 protony, 2 neutrony a 2 elektrony:
 $Z = 2$, $N = A - Z = 4 - 2 = 2$. Pak pro hmotnostní úbytek $\Delta m({}^4_2\text{He})$ platí:

$$\Delta m({}^4_2\text{He}) = 2 m({}^1_1\text{p}) + 2 m({}^1_0\text{n}) + 2 m({}^0_{-1}\text{e}) - m({}^4_2\text{He})$$

$$\Delta m({}^4_2\text{He}) = 2 \cdot 1,672\,623\,1 \cdot 10^{-27} + 2 \cdot 1,674\,928\,6 \cdot 10^{-27} +$$

$$+ 2 \cdot 9,109\,389\,7 \cdot 10^{-31} - 6,646\,44 \cdot 10^{-27}$$

$$\Delta m({}^4_2\text{He}) = 5,048\,53 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Hmotnostní úbytek při vzniku 1 atomu ${}^4_2\text{He}$ z protonů, neutronů a elektronů je $5,048\,53 \cdot 10^{-29}$ kg (což je 0,76 % hmotnosti atomu ${}^4_2\text{He}$).

b) Pro určení vazebné energie použijeme vztah $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, kde c je rychlost světla ve vakuu ($3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$):

$$\Delta E = 5,048\,53 \cdot 10^{-29} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \text{ m s}^{-1} = 4,54367 \cdot 10^{-12} \text{ J} = 4,543\,67 \cdot 10^{-12} : \\ : 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ eV} = 2,838 \cdot 10^7 \text{ eV} = 28,38 \text{ MeV}.$$

Pozn.: V příkladu jsme neodlišovali vazebnou energii nukleonů v jádře od vazebné energie elektronů v obalu. Vazebná energie elektronů v obale je však přibližně milionkrát menší než vazebná energie nukleonů v jádře. Vypočtený efekt jde tedy v podstatě celý na vrub vazebné energie nukleonů v jádře.

Vazebná energie nukleonů v jádře 1 atomu ${}^4_2\text{He}$ má hodnotu přibližně 28,38 MeV.

c) V jádře 1 atomu ${}^4_2\text{He}$ jsou 4 nukleony. Vazebná energie jádra vztažená na 1 nukleon tedy má hodnotu $28,38 \text{ MeV} : 4 = 7,095 \text{ MeV}$.

2. Doplňte následující rovnici jaderné reakce: ${}_{29}^{62}\text{Cu} \rightarrow {}_Z^AX + {}_{28}^{62}\text{Ni}$, tj. určete A, Z a identifikujte prvek nebo částici X.

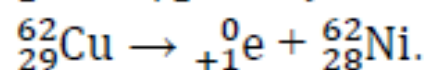
Řešení:

Platí zákon zachování nukleonového čísla a zákon zachování protonového čísla:

$$62 = A + 62 \Rightarrow A = 0$$

$$29 = Z + 28 \Rightarrow Z = 1$$

$${}_1^0X \Rightarrow {}_1^0e, \text{ tedy:}$$



3. Jak dlouho trvá, než se rozloží 90 % izotopu kryptonu ^{74}Kr , jestliže jeho poločas přeměny je 11,5 min?

Řešení:

Protože ve vzorci $N = N_0 e^{-\lambda t}$ vystupuje λ a ne poločas přeměny $T_{1/2}$, je nutno nejprve převést $T_{1/2}$ na λ pomocí vztahu $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{11,5 \text{ min}} = 0,06027 \text{ min}^{-1}$$

Čas t , za který se rozloží 90 % uvedeného izotopu, vypočteme z exponenciálního zákona jaderné přeměny:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

kde N_0 je původní počet jader (v čase $t = 0$) a N je počet nerozložených jader v daném čase t .

Ze zadání víme, že se má rozložit 90 % jader nuklidu, tj. má zůstat 10 % nerozloženo.

$$\text{Po dosazení: } 10 = 100 e^{-0,06027t}$$

$$\text{odtud } \frac{10}{100} = e^{-0,06027t}$$
$$0,1 = e^{-0,06027t}$$

$$\ln 0,1 = -0,06027 t \Rightarrow t = 38,2 \text{ min}$$

Potřebná doba je 38,2 min.

4. Určete poločas přeměny radioaktivního nuklidu ${}_{15}^{32}\text{P}$, jestliže víte, že po 6 týdnech zůstalo nerozloženo 13 % původního množství nuklidu.

Řešení:

Vyjdeme z exponenciálního zákona jaderné přeměny:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Dosadíme:

$$13 = 100 e^{-\lambda \cdot 6}$$

$$0,13 = e^{-\lambda \cdot 6}$$

$\ln 0,13 = -\lambda \cdot 6$, odtud $\lambda = 0,3400 \text{ týden}^{-1}$. Odtud zjistíme poločas přeměny pomocí vztahu:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{0,3400} = 2,038 \text{ týdne} = 14,27 \text{ dne.}$$

Poločas přeměny radionuklidu ${}_{15}^{32}\text{P}$ je 14,27 dne.

- Určete složení jádra prvku, který vznikl z ^{238}U po 4 přeměnách α a dvou přeměnách β^- .

Určete poločas přeměny ^{40}K . Jeho přeměnová konstanta je $\lambda = 5,3 \cdot 10^{-10} \text{ rok}^{-1}$.

$$\lambda = \frac{h\nu}{T_{02}} = \frac{h\nu}{513 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = 1\,307\,824\,869 \text{ s} = \underline{\underline{1,31 \cdot 10^9 \text{ s}}}$$

Za čas $t = 50$ hodin klesne aktivita radioaktivního sodíku na desetinu počáteční hodnoty. Jaký je poločas přeměny tohoto nuklidu?

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\frac{N_0}{10} = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad / : N_0$$

$$0,1 = e^{-\lambda t}$$

$$\ln 0,1 = -\lambda t \cdot \ln e \quad \ln e = 1$$

$$-2,3026 = -\lambda t \cdot 1 / (-1)$$

$$\lambda t \cdot 1 = 2,3026$$

$$\lambda = \frac{2,3026}{t}$$

$$\lambda = \frac{2,3026}{50}$$

$$\lambda = 0,046 \text{ hod}^{-1}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

$$T = \frac{0,693}{0,046} \text{ hod} \doteq 15 \text{ hod}$$

$$T \doteq 15 \text{ hod}$$

Poločas přeměny ^{226}Ra je $T_{1/2} = 1582$ roků.

a) Kolik procent ^{226}Ra zůstane ve vzorku po 4 800 rocích?

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N = 100 \cdot e^{-0,000438 \cdot 4800}$$

$$N = 12,21 \%$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$\lambda = 0,000438 \text{ let}^{-1}$$

Poločas přeměny ^{226}Ra je $T_{1/2} = 1582$ roků.

b) Kolik % ^{226}Ra se přemění za 6 400 roků?

$$\lambda = 0,000438 \text{ let}^{-1}$$

$$N = 100 \cdot e^{-0,000438 \cdot 6400}$$

$$N = 6,06\%$$

$$100\% - 6,06\% = \underline{\underline{93,94\%}}$$